



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111600188 B

(45) 授权公告日 2021.07.13

(21) 申请号 201910140365.7

H01S 3/11 (2006.01)

(22) 申请日 2019.02.21

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105576478 A, 2016.05.11

申请公布号 CN 111600188 A

CN 109038191 A, 2018.12.18

(43) 申请公布日 2020.08.28

US 5274490 A, 1993.12.28

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

US 2016/0124202 A1, 2016.05.05

地址 518057 广东省深圳市南山区高新园

MINGGUI WAN et al.. Time and fourier domain jointly mode locked frequency comb swept fiber laser.《OPTICS EXPRESS》.2017, 第25卷(第26期), 摘要, 第32705-32712页, 图4.

南区粤兴一道18号香港理工大学产学研大楼205室

(72) 发明人 李锋 黄冬梅 卫炳江 尚超

陈明惠等. 傅里叶域锁模扫频激光光源.《光学学报》.2011, 第31卷(第6期), 第1-5页.

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所

审查员 郜慧斌

44237

代理人 高星

(51) Int. Cl.

H01S 3/10 (2006.01)

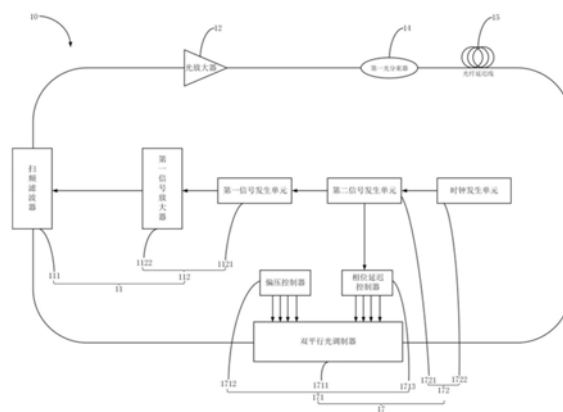
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

一种傅里叶锁模激光器

(57) 摘要

本发明涉及激光技术领域, 提供了一种傅里叶锁模激光器, 包括沿光路设置的滤波模块、光放大器、第一光分束器、光纤延迟线以及光调制模块, 滤波模块包括扫频滤波器和滤波控制单元, 滤波控制单元与扫频滤波器连接; 光调制模块包括光调制单元和调制控制单元, 调制控制单元与光调制单元连接; 光调制单元用于对光信号进行移频补偿, 调制控制单元用于控制光调制单元的移频量; 通过调制控制单元对光调制单元进行精确和灵活控制, 使得光调制单元可以补偿激光腔内的频率偏移量, 从而可以有效消除激光腔内的频率偏移, 改善激光器的相干性。



1. 一种傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 包括沿光路设置的滤波模块、光放大器、第一光分束器、光纤延迟线以及光调制模块;

所述滤波模块包括扫频滤波器和滤波控制单元, 所述滤波控制单元与所述扫频滤波器连接;

所述光调制模块包括光调制单元和调制控制单元, 所述调制控制单元与所述光调制单元连接;

所述光调制单元用于对光信号进行移频补偿, 所述调制控制单元用于控制所述光调制单元的移频量;

其中, 所述光调制单元包括双平行光调制器、偏压控制器以及相位延迟控制器;

所述双平行光调制器与所述扫频滤波器连接; 所述偏压控制器和所述相位延迟控制器均与所述双平行光调制器连接; 所述相位延迟控制器与所述调制控制单元连接, 所述双平行光调制器用于对光信号进行频移, 所述光信号的频移量通过射频信号进行控制, 所述偏压控制器用于调节所述双平行光调制器的偏置电压, 所述相位延迟控制器用于改变所述射频信号的相位延迟。

2. 如权利要求1所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述滤波控制单元包括第一信号发生单元, 所述第一信号发生单元与所述扫频滤波器连接。

3. 如权利要求2所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述滤波控制单元还包括第一信号放大器, 所述第一信号放大器设于所述第一信号发生单元和所述扫频滤波器之间。

4. 如权利要求1所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述调制控制单元包括第二信号发生单元, 所述第二信号发生单元与所述相位延迟控制器连接。

5. 如权利要求4所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述调制控制单元还包括第二信号放大器, 所述第二信号放大器设于所述第二信号发生单元和所述相位延迟控制器之间。

6. 如权利要求4所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述调制控制单元还包括时钟发生单元, 以使第一信号发生单元和所述第二信号发生单元同步;

所述时钟发生单元与所述第二信号发生单元连接, 所述第二信号发生单元与所述第一信号发生单元连接;

或者, 所述时钟发生单元与所述第一信号发生单元连接, 所述第一信号发生单元与所述第二信号发生单元连接;

或者, 所述时钟发生单元与所述第一信号发生单元和所述第二信号发生单元均连接。

7. 如权利要求1所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述调制控制单元包括第二光分束器、可调延迟线、光合束器以及光电探测器;

所述第二光分束器设于所述光纤延迟线和所述双平行光调制器之间;

所述可调延迟线与所述第二光分束器连接;

所述光合束器与所述第一光分束器和所述可调延迟线均连接;

所述光电探测器与所述光合束器连接;

所述相位延迟控制器与所述光电探测器连接。

8. 如权利要求1~7任一项所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有至少一个光隔离器。

9.如权利要求1~7任一项所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有偏振控制器。

10.如权利要求1~7任一项所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有多通道光滤波器。

11.如权利要求1~7任一项所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有光强度调制模块;

所述光强度调制模块包括光强度调制器和第三信号发生器,所述第三信号发生器与所述光强度调制器连接。

一种傅里叶锁模激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及激光技术领域,更具体地说,是涉及一种傅里叶锁模激光器。

背景技术

[0002] 傅里叶锁模激光技术是除幅度锁模和相位锁模的一种新型激光技术,是实现高速扫频激光光源的重要技术方案,因其具有高扫描速度、宽扫描范围、窄瞬时线宽等特点,在光学相干成像系统、光传感、光通信、光谱测量等领域都具有潜在的应用。

[0003] 通过在激光腔中加入一段光纤作为延迟线,可以减小腔基频,使得可调谐滤波器的调谐频率可以和腔基频相同,从而使得每个波长在腔内循环一周再次到达扫频滤波器时,刚好扫频滤波器调谐到这个波长使其通过。因此,每个波长无需从噪声重建,扫频速度不受限于激光振荡建立的时间,而仅受限于滤波器的调谐速度。然而,现有的傅里叶锁模激光器由于激光腔的色散、调制频率失谐等诸多因素的综合作用,激光相干性较差。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种傅里叶锁模激光器,以解决现有傅里叶锁模激光器产生的激光相干性差的技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:提供一种傅里叶锁模激光器,包括沿光路设置的滤波模块、光放大器、第一光分束器、光纤延迟线以及光调制模块;

[0006] 所述滤波模块包括扫频滤波器和滤波控制单元,所述滤波控制单元与所述扫频滤波器连接;

[0007] 所述光调制模块包括光调制单元和调制控制单元,所述调制控制单元与所述光调制单元连接;

[0008] 所述光调制单元用于对光信号进行移频补偿,所述调制控制单元用于控制所述光调制单元的移频量。

[0009] 在一个实施例中,所述滤波控制单元包括第一信号发生单元,所述第一信号发生单元与所述扫频滤波器连接。

[0010] 在一个实施例中,所述滤波控制单元还包括第一信号放大器,所述第一信号放大器设于所述第一信号发生单元和所述扫频滤波器之间。

[0011] 在一个实施例中,所述光调制单元包括双平行光调制器、偏压控制器以及相位延迟控制器;

[0012] 所述双平行光调制器与所述扫频滤波器连接;

[0013] 所述偏压控制器和所述相位延迟控制器均与所述双平行光调制器连接;

[0014] 所述相位延迟控制器与所述调制控制单元连接。

[0015] 在一个实施例中,所述调制控制单元包括第二信号发生单元,所述第二信号发生单元与所述相位延迟控制器连接。

[0016] 在一个实施例中,所述调制控制单元还包括第二信号放大器,所述第二信号放大

器设于所述第二信号发生单元和所述相位延迟控制器之间。

[0017] 在一个实施例中,所述调制控制单元还包括时钟发生单元,以使所述第一信号发生单元和所述第二信号发生单元同步;

[0018] 所述时钟发生单元与所述第二信号发生单元连接,所述第二信号发生单元与所述第一信号发生单元连接;

[0019] 或者,所述时钟发生单元与所述第一信号发生单元连接,所述第一信号发生单元与所述第二信号发生单元连接;

[0020] 或者,所述时钟发生单元与所述第一信号发生单元和所述第二信号发生单元均连接。

[0021] 在一个实施例中,所述调制控制单元包括第二光分束器、可调延迟线、光合束器以及光电探测器;

[0022] 所述第二光分束器设于所述光纤延迟线和所述双平行光调制器之间;

[0023] 所述可调延迟线与所述第二光分束器连接;

[0024] 所述光合束器与所述第一光分束器和所述可调延迟线均连接;

[0025] 所述光电探测器与所述光合束器连接;

[0026] 所述相位延迟控制器与所述光电探测器连接。

[0027] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有至少一个光隔离器。

[0028] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有偏振控制器。

[0029] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有多通道光滤波器。

[0030] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器的光路上还设置有光强度调制模块;

[0031] 所述光强度调制模块包括光强度调制器和第三信号发生器,所述第三信号发生器与所述光强度调制器连接。

[0032] 本发明提供一种傅里叶锁模激光器的有益效果至少在于:

[0033] 目前常用的消除光信号频率偏移的方式为通过光纤光栅等进行色散补偿,从而在一定程度上降低激光腔内的净色散量,然而这种方式无法完全消除色散,对光信号的频移量控制不够精确和灵活,很难完全消除光信号的频率偏移。而本实施例提供的傅里叶锁模激光器中设置光调制模块,通过调制控制单元对光调制单元进行精确和灵活控制,从而使光调制单元可以补偿激光腔内的频率偏移量,从而可以有效消除激光腔内的频率偏移,改善激光器的相干性。

附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0035] 图1为本发明实施例提供的第一种傅里叶锁模激光器的结构示意图一;

[0036] 图2为本发明实施例提供的第一种傅里叶锁模激光器的结构示意图二;

[0037] 图3为本发明实施例提供的第二种傅里叶锁模激光器的结构示意图;

[0038] 图4为本发明实施例提供的第三种傅里叶锁模激光器的结构示意图;

- [0039] 图5为本发明实施例提供的第四种傅里叶锁模激光器的结构示意图；
- [0040] 图6为本发明实施例提供的傅里叶锁模激光器中载波抑制单边带调制的原理图。
- [0041] 其中，图中各附图标记：
- | | |
|-----------------------|----------------|
| [0042] 10-傅里叶锁模激光器； | |
| [0043] 11-滤波模块； | 111-扫频滤波器； |
| [0044] 112-滤波控制单元； | 1121-第一信号发生单元； |
| [0045] 1122-第一信号放大器； | 12-光放大器； |
| [0046] 13-第一光隔离器； | 14-第一光分束器； |
| [0047] 15-光纤延迟线； | 16-偏振控制器； |
| [0048] 17-光调制模块； | 171-光调制单元； |
| [0049] 1711-双平行光调制器； | 1712-偏压控制器； |
| [0050] 1713-相位延迟控制器； | 172-调制控制单元； |
| [0051] 1721-第二信号发生单元； | 1722-时钟发生单元； |
| [0052] 1723-第二光分束器； | 1724-可调延迟线； |
| [0053] 1725-光合束器； | 1726-光电探测器； |
| [0054] 18-第二光隔离器； | 19-多通道光滤波器； |
| [0055] 21-光强度调制模块； | 211-光强度调制器； |
| [0056] 212-第三信号发生器。 | |

具体实施方式

[0057] 为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0058] 需要说明的是，当部件被称为“固定于”或“设置于”另一个部件，它可以直接或者间接位于该另一个部件上。当一个部件被称为“连接于”另一个部件，它可以是直接或者间接连接至该另一个部件上。术语“上”、“下”、“左”、“右”、“前”、“后”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置为基于附图所示的方位或位置，仅是为了便于描述，不能理解为对本技术方案的限制。术语“第一”、“第二”仅用于便于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明技术特征的数量。“多个”的含义是两个或两个以上，除非另有明确具体的限定。

[0059] 请参阅图1，一种傅里叶锁模激光器10，包括沿光路设置的滤波模块11、光放大器12、第一光分束器14、光纤延迟线15以及光调制模块17，滤波模块11包括扫频滤波器111和滤波控制单元112，滤波控制单元112与扫频滤波器111连接。光调制模块17包括光调制单元171和调制控制单元172，调制控制单元172与光调制单元171连接；光调制单元171用于对光信号进行移频补偿，调制控制单元172用于控制光调制单元171的移频量。

[0060] 应当理解的是，滤波模块11、光放大器12、第一光分束器14、光纤延迟线15以及光调制模块17之间的连接顺序可以根据需要进行任意交换，从而进行调整。为了描述方便，以滤波模块11、光放大器12、第一光分束器14、光纤延迟线15以及光调制模块17依次连接为例进行说明，但并不对连接顺序进行限制。光放大器12的数量可以根据需要进行设置，可以为

一个或多个,此处不做限制。

[0061] 在本实施例中,滤波模块11的扫频滤波器111、光放大器12、第一光分束器14、光纤延迟线15以及光调制模块17的光调制单元171沿环路依次设置,且相邻模块或器件之间通过光纤连接。其中:

[0062] 扫频滤波器(SF) 111可以是基于扫描透镜与光栅配合、压电陶瓷控制的机械式或者集成式的扫频滤波器,通过周期性信号控制滤波器的透射波长,对光信号进行窄带滤波。滤波控制单元112用于产生扫频滤波器111所需的驱动电信号,驱动扫频滤波器111对光信号进行动态滤波。

[0063] 光放大器(OA) 12为激光器提供增益,可以是半导体光放大器,掺杂光纤放大器,拉曼放大器,参量放大器等。

[0064] 第一光分束器(BS) 14对光信号进行不同比例的分束,可以是基于光纤熔锥、波导分束等机制的光纤分束器,或者是自由空间光分束器。

[0065] 光纤延迟线(Delay) 15是将光信号进行延迟,可以是普通单模或多模光纤,也可以是色散位移,色散补偿等特种光纤或其组合,其可以为单次单向传播,或者结合光环形器及反射器件如全反射光纤环、反射镜、法拉第旋光反射镜等器件实现双向传播延迟。

[0066] 调制控制单元172用于产生光调制单元171所需的驱动电信号,驱动光调制单元171实现精确的光信号移频。

[0067] 本实施例提供的傅里叶锁模激光器10的工作原理可以为:激光腔内的光信号经过扫频滤波器111后进行波长选择。扫频滤波器111的透过波长可通过滤波控制单元112产生的周期性电压信号进行控制,扫频驱动信号的重复频率与腔基频匹配。经过扫频滤波器111的光信号传输到光放大器12进行放大,然后经第一光分束器14分成两部分,分别输出到腔外和返回腔内。返回腔内的信号进入光纤延迟线15,此光纤延迟线15的长度设置为保证光信号在包含此光纤延迟线15的整个光纤环形腔内的传播时间是扫频滤波器111调制周期的整数倍。光信号从光纤延迟线15输出后进入光调制单元171。调制控制单元172通过对光调制单元171进行精确控制,从而使得光调制单元171可以补偿激光腔内的频率偏移量。经过频率偏移补偿的光信号再次进入扫频滤波器111,开始下一个循环。

[0068] 目前常用的消除光信号频率偏移的方式为通过光纤光栅等进行色散补偿,从而在一定程度上降低激光腔内的净色散量,然而这种方式无法完全消除色散,对光信号的频移量控制不够精确和灵活,因此很难在谱宽超过100nm的范围内完全消除光信号的频率偏移。而本实施例提供的傅里叶锁模激光器10中设置光调制模块17,通过调制控制单元172对光调制单元171进行精确和灵活控制,从而使得光调制单元171可以补偿激光腔内的频率偏移量,从而可以有效消除激光腔内的频率偏移,改善激光器的相干性。

[0069] 请参阅图2,进一步地,傅里叶锁模激光器10的光路上设置有至少一个光隔离器(ISO),光隔离器用于保证光信号沿单一方向传播,隔离反向散射光对系统的干扰,其可以是光纤隔离器或者是自由空间型的隔离器。光隔离器的数量和位置可以根据需要进行灵活设置,此处不做限制。

[0070] 在一个实施例中,傅里叶锁模激光器10包括第一光隔离器13,第一光隔离器13设于光放大器12和第一光分束器14之间。

[0071] 在一个实施例中,傅里叶锁模激光器10还包括第二光隔离器18,第二光隔离器18

设于扫频滤波器111和光放大器12之间。

[0072] 请参阅图1和图2,进一步地,滤波控制单元112包括第一信号发生单元(SG) 1121,第一信号发生单元1121与扫频滤波器111连接,其中第一信号发生单元1121用于产生扫频滤波器111所需的驱动电信号,驱动扫频滤波器111对光信号进行动态滤波。当第一信号发生单元1121产生的驱动电信号强度足够时,则可以直接驱动扫频滤波器111。当第一信号发生单元1121产生的驱动电信号强度不足够时,则需要对该信号进行放大。

[0073] 在一个实施例中,滤波控制单元112还包括第一信号放大器1122,第一信号放大器1122设于第一信号发生单元1121和扫频滤波器111之间,用于对第一信号发生单元1121产生的信号进行放大,以获得足够的驱动功率对扫频滤波器111进行驱动。

[0074] 请参阅图1和图2,进一步地,光调制单元171包括双平行光调制器(IQM) 1711、偏压控制器(Bias) 1712以及相位延迟控制器(Phase Delay) 1713,双平行光调制器1711与扫频滤波器111连接,偏压控制器1712和相位延迟控制器1713均与双平行光调制器1711连接,相位延迟控制器1713与调制控制单元172连接。其中,双平行光调制器1711是用来实现载波抑制单边带技术,可以是基于铌酸锂或其他电光材料的集成或分立的、包含多个马赫增德尔电光调制器的组合。偏压控制器1712用于为双平行光调制器1711提供合适的一路或多路偏置电压,使其工作在所需的工作点,可以通过手动或光信号反馈自动调节的电压信号发生器。

[0075] 载波抑制单边带技术(SSB-IQM)的原理如图6所示,采用双平行的马赫增德尔调制器(MZM)作为移频器对光信号进行移频,其由三个马赫增德尔调制器(MZM-1、MZM-2以及MZM-3)组成。通过偏压控制器1712调节三个马赫增德尔调制器的偏置电压,从而改变其相位 $\Delta\psi$,使双平行的马赫增德尔调制器工作在单边带抑制的状态,实现对输入的光信号进行移频。频移量可以通过外加的RF信号(射频信号)来精确控制,移频方向取决于留下的一阶边带正负,相位延迟控制器1713通过改变RF信号的相位延迟使其与扫频滤波器111的信号同步。

[0076] 请参阅图1和图2,在一个实施例中,调制控制单元172包括第二信号发生单元1721,第二信号发生单元1721与相位延迟控制器1713连接,其中第二信号发生单元1721用于产生双平行光调制器1711所需的驱动电信号,驱动双平行光调制器1711实现精确的光信号移频。当第二信号发生单元1721产生的信号强度不够时,还可以在第二信号发生单元1721和相位延迟控制器1713之间设置第二信号放大器,用于对第二信号发生单元1721产生的信号进行放大。

[0077] 为了使得第一信号发生单元1121和第二信号发生单元1721同步,调制控制单元172还包括时钟发生单元(CLK) 1722,时钟发生单元1722产生触发信号驱动第一信号发生单元1121和第二信号发生单元1721。应当理解的是,时钟发生单元1722与第一信号发生单元1121和第二信号发生单元1721的连接方式可以根据需要进行设置,例如可以是时钟发生单元1722与第二信号发生单元1721连接,第二信号发生单元1721与第一信号发生单元1121连接;可以是时钟发生单元1722与第一信号发生单元1121连接,第一信号发生单元1121与第二信号发生单元1721连接;还可以是时钟发生单元1722与第一信号发生单元1121和第二信号发生单元1721均连接。

[0078] 应当理解的是,第一信号发生单元1121、第二信号发生单元1721以及时钟发生单

元1722可以是单独的仪器或模块,也可以是同一台仪器或模块的不同通道,可以根据需要进行设置。

[0079] 请参阅图5,在一个实施例中,调制控制单元172包括第二光分束器1723、可调延迟线1724、光合束器1725以及光电探测器1726,第二光分束器1723设于光纤延迟线15和偏振控制器16之间,可调延迟线1724与第二光分束器1723连接,光合束器1725与第一光分束器14和可调延迟线1724均连接,光电探测器1726与光合束器1725连接,相位延迟控制器1713与光电探测器1726连接。光电探测器1726和相位延迟控制器1713之间还可以设置信号处理和放大单元,以便对光电探测器1726的信号进行处理。

[0080] 第一光分束器14将光信号分成两部分,一部分输出到第一固定长度的光纤,另一部分返回激光腔内继续传输。返回激光腔内的光信号进入光纤延迟线15,光信号从光纤延迟线15输出后,经过第二光分束器1723输出一部分光到可调延迟线1724,另一部分光返回到激光腔中经过偏振控制器16调节偏振状态,然后进入双平行光调制器1711。通过对可调延迟线1724进行调节,使得可调延迟线1724与激光腔中除光纤延迟线1724以外的其他器件的等效光程一致,这样由第一光分束器14输出到一段固定长度光纤的光信号与经过光纤延迟线15和可调延迟线1724的光信号到达光合束器1725处的光程差正好等于环形腔的光程,两路光信号在光合束器1725处发生干涉,用光电探测器1726将干涉拍频信号接收之后转化为电信号作为RF信号加载在双平行光调制器1711上,以实现激光腔中光信号的频率偏移。

[0081] 请参阅图3,在一个实施例中,傅里叶锁模激光器10还包括多通道光滤波器(CF)19,多通道光滤波器19设于扫频滤波器111和光调制单元171中双平行光调制器1711之间。其中多通道光滤波器19用于离散化激光器的光信号,使波长处于扫频滤波器111透射峰的信号通过,可以是基于法布里珀罗干涉仪、马赫曾德尔干涉仪、光纤环、光波导环等不同原理的梳状光谱滤波器。

[0082] 在一个实施例中,傅里叶锁模激光器10的光路上还设置有偏振控制器16,偏振控制器16设于光纤延迟线15和光调制单元171之间,用于调节腔内的偏振态,使偏振敏感器件如光调制器、半导体光放大器等工作在系统所要求的最佳状态。其可以是基于三环型、双环形、挤压型等不同类型的光纤在线偏振控制器,或者是由多个玻片组成的自由空间偏振控制器。

[0083] 请参阅图4,在一个实施例中,傅里叶锁模激光器10还包括光强度调制模块21,光强度调制模块21包括光强度调制器(MOD)211和第三信号发生器212,光强度调制器211设于扫频滤波器111和双平行光调制器1711之间,第三信号发生器212与光强度调制器211连接。其中,光强度调制器211用于实现对光信号的强度或幅度调制,可以是基于铌酸锂或其他电光材料的马赫增德尔电光调制器,或者是半导体电吸收调制器,微机械光开关等不同类型的光强度调制器。在本实施例中,双平行光调制器1711输出的光信号传输到光强度调制器211,光强度调制器211由第三信号发生器212产生的脉冲电信号驱动,将输入的扫频光信号进行强度调制,从而在时域上离散化,由于光信号是波长不断变化的,因此时域上的离散化也会在频谱上进行对应的离散化。

[0084] 在进行方案设计时,需要根据理论仿真和实验验证找到线宽增益因子引起的频率偏移、滤波器的线宽、调制频率失谐等因素的综合作用带来的激光腔中的频率偏移量。另外

通过偏压控制使双平行光调制器能够稳定地工作在载波抑制单边带条件。同时扫频滤波器的信号和加载到调制器的RF信号的同步控制也是关键。

[0085] 本实施例采用载波抑制单边带调制技术对傅里叶锁模激光器10的频率偏移进行精确控制补偿,这种动态的频率补偿技术可以有效地提高激光器的相干性,相比目前的傅里叶锁模激光器技术,至少具有以下好处:

[0086] (1) 载波抑制单边带调制技术可以通过改变加载在双平行光调制器1711的RF信号补偿输入光信号的偏移量,相比于用光纤光栅等色散补偿技术来说,这种通过主动改变RF信号的补偿技术能够更加精确和灵活地控制光信号的频移量。

[0087] (2) 目前的激光器中色散补偿器件如啁啾光纤光栅等只能从一定程度上降低激光腔内的净色散量,无法完全消除色散。而本实施例提出的载波抑制单边带调制技术对傅里叶锁模激光器10中每一次循环的光信号进行反向的频率偏移补偿,可以有效消除激光腔内的频率偏移,改善激光器的相干性,傅里叶锁模激光器的输出光谱宽度可以超过100nm,从而可适应更广泛的使用场景。

[0088] 应当理解的是,本实施例提供的傅里叶锁模激光器10的各个器件、模块或单元之间的连接顺序可以根据需要进行任意调整,并不仅限于上述描述中提到的情形,此处不做限制。

[0089] 以下提供几种傅里叶锁模激光器10的具体实施例,但并不仅限于下述实施例。

[0090] 请参阅图1和图2,实施例一:

[0091] 本实施例设计一种用信号发生器产生RF信号控制载波抑制单边带调制器的移频量,从而补偿傅里叶锁模激光器10由于散射、非线性等造成的频率偏移,提高激光器输出的瞬时线宽(即相干长度)。傅里叶锁模激光器10包括沿环形光路依次设置的滤波模块11、第二光隔离器18、光放大器12、第一光隔离器13、第一光分束器14、光纤延迟线15、偏振控制器16以及光调制模块17。滤波模块11包括扫频滤波器111和滤波控制单元112,扫频滤波器111与光放大器12连接;滤波控制单元112包括第一信号发生单元1121和第一信号放大器1122,第一信号发生单元1121通过第一信号放大器1122与扫频滤波器111连接。光调制模块17包括光调制单元171和调制控制单元172,光调制单元171包括双平行光调制器1711、偏压控制器1712以及相位延迟控制器1713,双平行光调制器1711与扫频滤波器111连接,偏压控制器1712和相位延迟控制器1713均与双平行光调制器1711连接;调制控制单元172包括第二信号发生单元1721和时钟发生单元1722,时钟发生单元1722与第二信号发生单元1721连接,第二信号发生单元1721与相位延迟控制器1713连接,且第二信号发生单元1721与第一信号发生单元1121连接,从而使得两者同步。

[0092] 傅里叶锁模激光器10工作时,激光腔内的光信号经过扫频滤波器111后进行波长选择。扫频滤波器111的透过波长可通过第一信号发生单元1121产生的周期性电压信号进行控制,驱动信号的重复频率与腔基频匹配。经过扫频滤波器111的光信号传输到光放大器12进行放大,然后经过第一光隔离器13保证光信号单方向传输,再到第一光分束器14分成两部分分别输出到腔外和返回腔内。返回腔内的光信号进入光纤延迟线15,此光纤延迟线15的长度可以保证光信号在包含此光纤延迟线15的整个光纤环形腔内的传播时间是扫频滤波器111调制周期的整数倍。光信号从光纤延迟线15输出后,经过偏振控制器16调节偏振状态,然后进入双平行光调制器1711。时钟发生单元1722触发第二信号发生单元1721产生

RF信号对输入光信号的频率进行移频,移频量由输入RF信号的频率决定。RF信号的驱动频率可通过仿真计算激光器的频率偏移来准确控制。同时第二信号发生单元1721产生同步的周期性信号驱动第一信号发生单元1121产生扫频信号,扫频信号经过第一信号放大器1122后加载在扫频滤波器111上,周期性的扫频信号使扫频滤波器111对激光腔中的波长进行周期性的选择滤波。偏压控制器1712通过改变电压控制双平行光调制器1711,使其工作在稳定的载波抑制单边带条件,相位延迟控制器1713通过改变RF的相位延迟使其与扫频滤波器111的信号同步。

[0093] 请参阅图3,实施例二:

[0094] 本实施例设计一种利用信号发生器产生RF信号控制载波抑制单边带调制器的移频量来补偿离散傅里叶锁模激光器的频偏,改善激光器输出的瞬时线宽(即相干长度)。本实施例不仅限于应用在连续扫频的傅里叶锁模激光器,在离散傅里叶锁模激光器中也同样适用。基于移频补偿的离散型傅里叶锁模激光器10包括沿环形光路依次设置的滤波模块11、第二光隔离器18、光放大器12、第一光隔离器13、第一光分束器14、光纤延迟线15、偏振控制器16、光调制模块17以及多通道光滤波器19。滤波模块11包括扫频滤波器111和滤波控制单元112,扫频滤波器111与光放大器12连接;滤波控制单元112包括第一信号发生单元1121和第一信号放大器1122,第一信号发生单元1121通过第一信号放大器1122与扫频滤波器111连接。光调制模块17包括光调制单元171和调制控制单元172,光调制单元171包括双平行光调制器1711、偏压控制器1712以及相位延迟控制器1713,双平行光调制器1711与扫频滤波器111连接,偏压控制器1712和相位延迟控制器1713均与双平行光调制器1711连接;调制控制单元172包括第二信号发生单元1721和时钟发生单元1722,时钟发生单元1722与第二信号发生单元1721连接,第二信号发生单元1721与相位延迟控制器1713连接,且第二信号发生单元1721与第一信号发生单元1121连接,从而使得两者同步。

[0095] 傅里叶锁模激光器10工作时,激光腔内的光信号经过扫频滤波器111后进行波长选择。扫频滤波器111的透过波长可通过第一信号发生单元1121产生的周期性电压信号进行控制,驱动信号的重复频率与腔基频匹配。经过扫频滤波器111的光信号传输到光放大器12进行放大,然后经过第一光隔离器13保证光信号单方向传输,再到第一光分束器14分成两部分分别输出到腔外和返回腔内。返回腔内的光信号进入光纤延迟线15,此光纤延迟线15的长度可以保证光信号在包含此光纤延迟线15的整个光纤环形腔内的传播时间是扫频滤波器111调制周期的整数倍。光信号从光纤延迟线15输出后,经过偏振控制器16调节偏振状态,然后进入双平行光调制器1711。从双平行光调制器1711输出的光信号传输到多通道光滤波器19将其进行离散化,得到频谱上均匀分布的离散信号。经过多通道光滤波器19的离散光信号将再次进入扫频滤波器111,开始下一个循环。上述过程循环反复,从而实现了波长分立的扫频输出。时钟发生单元1722触发第二信号发生单元1721产生RF信号对输入光信号的频率进行移频,移频量由输入RF信号的频率决定。RF信号的驱动频率可通过仿真计算激光器的频率偏移来准确控制。同时第二信号发生单元1721产生同步的周期性信号驱动第一信号发生单元1121产生扫频信号,扫频信号经过第一信号放大器1122后加载在扫频滤波器111上,周期性的扫频信号使扫频滤波器111对激光腔中的波长进行周期性的选择滤波。偏压控制器1712通过改变电压控制双平行光调制器1711,使其工作在稳定的载波抑制单边带条件,相位延迟控制器1713通过改变RF的相位延迟使其与扫频滤波器111的信号同

步。

[0096] 请参阅图4,实施例三:

[0097] 本实施例设计一种利用信号发生器产生RF信号控制载波抑制单边带调制器的移频量来补偿离散傅里叶锁模激光器的频偏,改善激光器输出的瞬时线宽(即相干长度)。实施例三中的傅里叶锁模激光器10扫频信号的离散化是基于多通道光滤波器19实现的,这种离散化还可以基于时域调制实现,实施例方案设计如图3所示。

[0098] 基于移频补偿的离散型傅里叶锁模激光器10包括沿环形光路依次设置的滤波模块11、第二光隔离器18、光放大器12、第一光隔离器13、第一光分束器14、光纤延迟线15、偏振控制器16、光调制模块17以及光强度调制模块21。滤波模块11包括扫频滤波器111和滤波控制单元112,扫频滤波器111与光放大器12连接;滤波控制单元112包括第一信号发生单元1121和第一信号放大器1122,第一信号发生单元1121通过第一信号放大器1122与扫频滤波器111连接。光调制模块17包括光调制单元171和调制控制单元172,光调制单元171包括双平行光调制器1711、偏压控制器1712以及相位延迟控制器1713,双平行光调制器1711与扫频滤波器111连接,偏压控制器1712和相位延迟控制器1713均与双平行光调制器1711连接;调制控制单元172包括第二信号发生单元1721和时钟发生单元1722,时钟发生单元1722与第二信号发生单元1721连接,第二信号发生单元1721与相位延迟控制器1713连接,且第二信号发生单元1721与第一信号发生单元1121连接,从而使得两者同步。光强度调制模块21包括光强度调制器211和第三信号发生器212,光强度调制器211设于扫频滤波器111和双平行光调制器1711之间,第三信号发生器212与光强度调制器211连接。

[0099] 傅里叶锁模激光器10工作时,激光腔内的光信号经过扫频滤波器111后进行波长选择。扫频滤波器111的透过波长可通过第一信号发生单元1121产生的周期性电压信号进行控制,驱动信号的重复频率与腔基频匹配。经过扫频滤波器111的光信号传输到光放大器12进行放大,然后经过第一光隔离器13保证光信号单方向传输,再到第一光分束器14分成两部分分别输出到腔外和返回腔内。返回腔内的光信号进入光纤延迟线15,此光纤延迟线15的长度可以保证光信号在包含此光纤延迟线15的整个光纤环形腔内的传播时间是扫频滤波器111调制周期的整数倍。光信号从光纤延迟线15输出后,经过偏振控制器16调节偏振状态,然后进入双平行光调制器1711。从双平行光调制器1711输出的光信号传输到光强度调制器211,光强度调制器211由第三信号发生器212产生的脉冲电信号驱动,将输入的扫频光信号进行强度调制从而在时域上离散化,由于光信号是波长不断变化的,因此时域上的离散化也会在频谱上进行对应的离散化。双平行光调制器1711和光强度调制器211可以是分立的两个器件,也可以是集成在一起的器件,同时实现移频和强度调制。经过光强度调制器211的离散光信号将再次进入扫频滤波器111,开始下一个循环。上述过程循环反复,从而实现了波长分立的扫频输出。时钟发生单元1722触发第二信号发生单元1721产生RF信号对输入光信号的频率进行移频,移频量由输入RF信号的频率决定。RF信号的驱动频率可通过仿真计算激光器的频率偏移来准确控制。同时第二信号发生单元1721产生同步的周期性信号驱动第一信号发生单元1121产生扫频信号,扫频信号经过第一信号放大器1122后加载在扫频滤波器111上,周期性的扫频信号使扫频滤波器111对激光腔中的波长进行周期性的选择滤波。偏压控制器1712通过改变电压控制双平行光调制器1711,使其工作在稳定的载波抑制单边带条件,相位延迟控制器1713通过改变RF的相位延迟使其与扫频滤波器111的信

号同步。

[0100] 请参阅图5,实施例四:

[0101] 本实施例设计一种利用输出信号产生的拍频信号作为载波抑制单边带调制器的驱动信号来控制载波抑制单边带调制器的移频量,从而补偿离散傅里叶锁模激光器的频偏,改善激光器输出的瞬时线宽(即相干长度)。实施例一至三均是用信号发生器产生RF信号来控制载波抑制单边带的频移量,本实施例四通过输出信号和可调延迟线结合使用产生拍频信号来获得控制载波抑制单边带的驱动信号,调节可调延迟线匹配频率偏移量来补偿。

[0102] 基于移频补偿的离散型傅里叶锁模激光器10包括沿环形光路依次设置的滤波模块11、第二光隔离器18、光放大器12、第一光隔离器13、第一光分束器14、光纤延迟线15、偏振控制器16以及光调制模块17。滤波模块11包括扫频滤波器111和滤波控制单元112,扫频滤波器111与光放大器12连接;滤波控制单元112包括第一信号发生单元1121和第一信号放大器1122,第一信号发生单元1121通过第一信号放大器1122与扫频滤波器111连接。光调制模块17包括光调制单元171和调制控制单元172,光调制单元171包括双平行光调制器1711、偏压控制器1712以及相位延迟控制器1713,双平行光调制器1711与扫频滤波器111连接,偏压控制器1712和相位延迟控制器1713均与双平行光调制器1711连接;调制控制单元172包括第二光分束器1723、可调延迟线1724、光合束器1725以及光电探测器1726,第二光分束器1723设于光纤延迟线15和偏振控制器16之间,可调延迟线1724与第二光分束器1723连接,光合束器1725与第一光分束器14和可调延迟线1724均连接,光电探测器1726与光合束器1725连接,相位延迟控制器1713与光电探测器1726连接。

[0103] 傅里叶锁模激光器10工作时,激光腔内的光信号经过扫频滤波器111后进行波长选择。扫频滤波器111的透过波长可通过第一信号发生单元1121产生的周期性电压信号进行控制,驱动信号的重复频率与腔基频匹配。经过扫频滤波器111的光信号传输到光放大器12进行放大,然后经过第一光隔离器13保证光信号单方向传输,再到第一光分束器14分成两部分,一部分输出到一段固定长度的光纤,另一部分返回激光腔内继续传输。一方面,返回激光腔内的光信号进入光纤延迟线15,此光纤延迟线15的长度可以保证光信号在包含此光纤延迟线15的整个光纤环形腔内的传播时间是扫频滤波器111调制周期的整数倍。光信号从光纤延迟线15输出后,经过第二光分束器1723输出一部分光到可调延迟线1724,另一部分光返回到激光腔中经过偏振控制器16调节偏振状态,然后进入双平行光调制器1711。经过双平行光调制器1711的光信号将再次进入扫频滤波器111,开始下一个循环。上述过程循环反复,从而实现波长的扫频输出。另一方那,通过对可调延迟线1724进行调节,使得可调延迟线1724与激光腔中除光纤延迟线1724以外的其他器件的等效光程一致,这样由第一光分束器14输出到一段固定长度光纤的光信号与经过光纤延迟线15和可调延迟线1724的光信号到达光合束器1725处的光程差正好等于环形腔的光程,两路光信号在光合束器1725处发生干涉,用光电探测器1726将干涉拍频信号接收之后转化为电信号作为RF信号加载在双平行光调制器1711上,以实现激光腔中光信号的频率偏移。偏压控制器1712通过改变电压控制双平行光调制器1711,使其工作在稳定的载波抑制单边带条件,相位延迟控制器1713通过改变RF的相位延迟使其与扫频滤波器111的信号同步。

[0104] 以上所述仅为本发明的实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和

原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

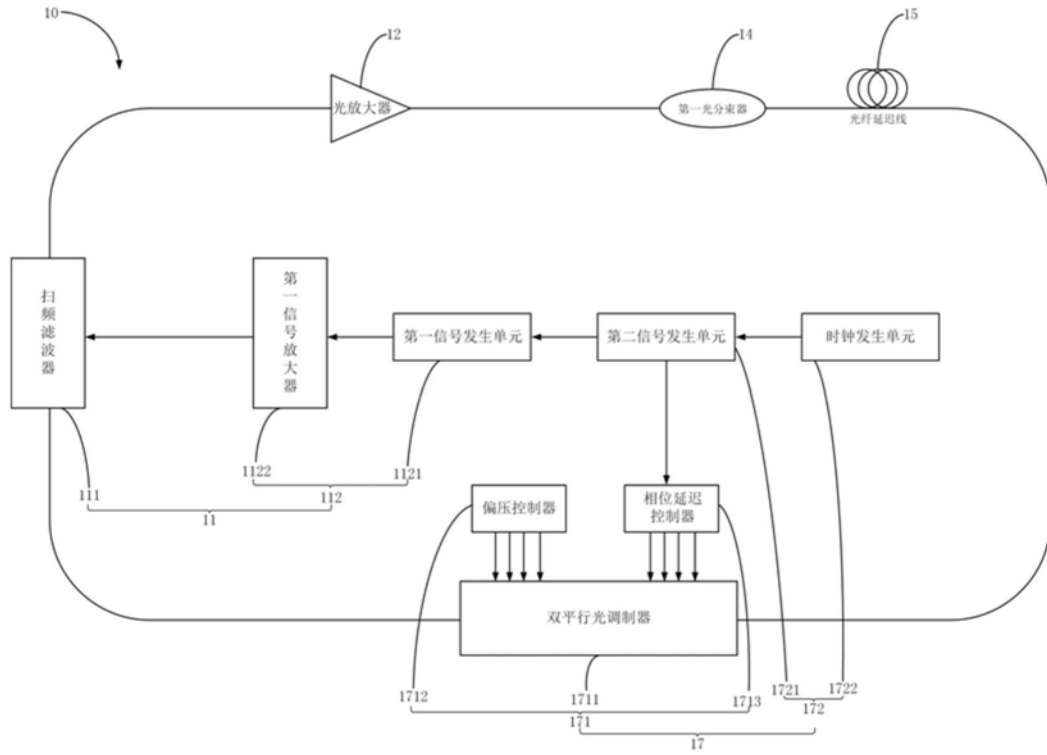


图1

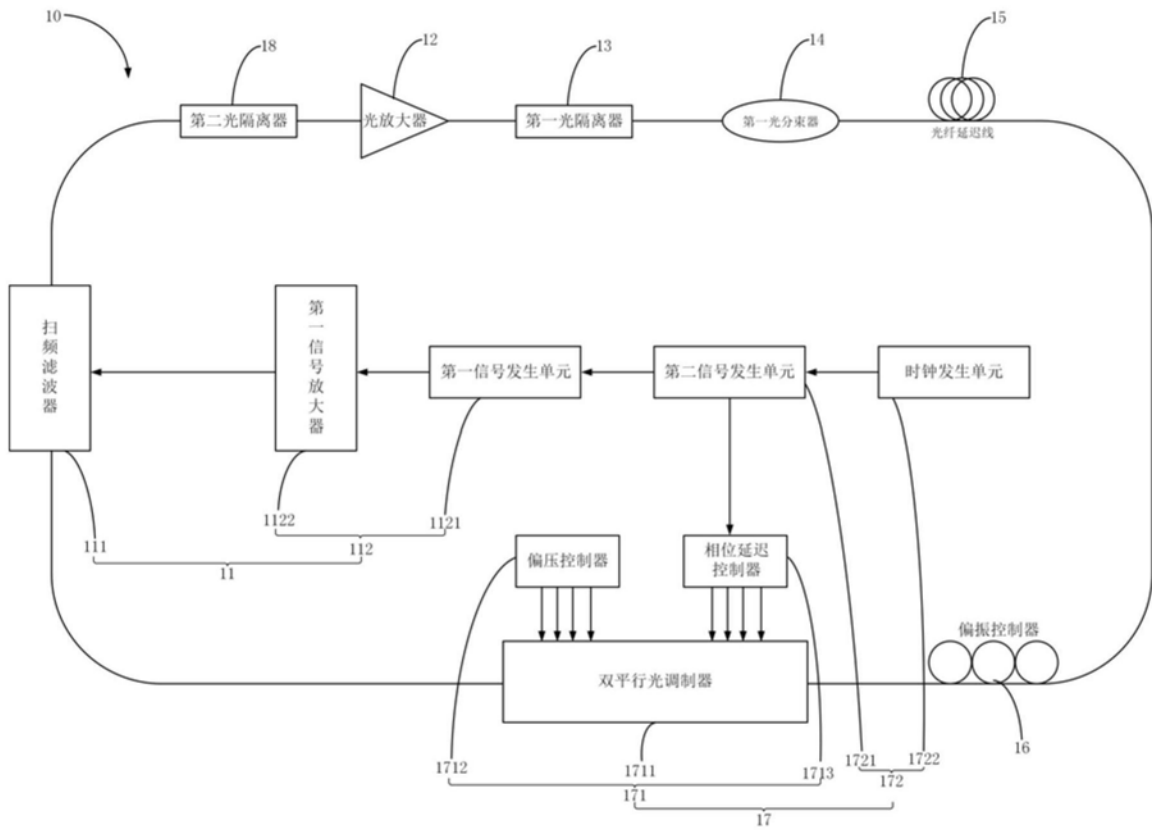


图2

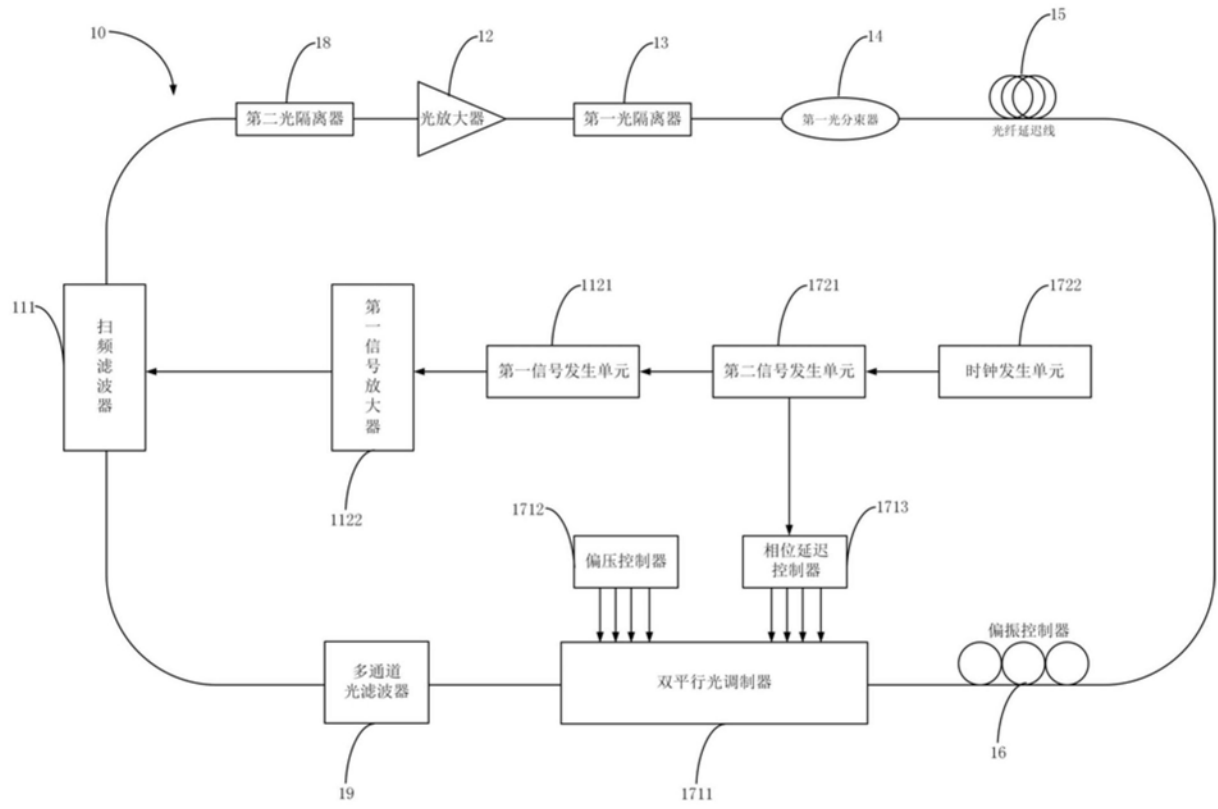


图3

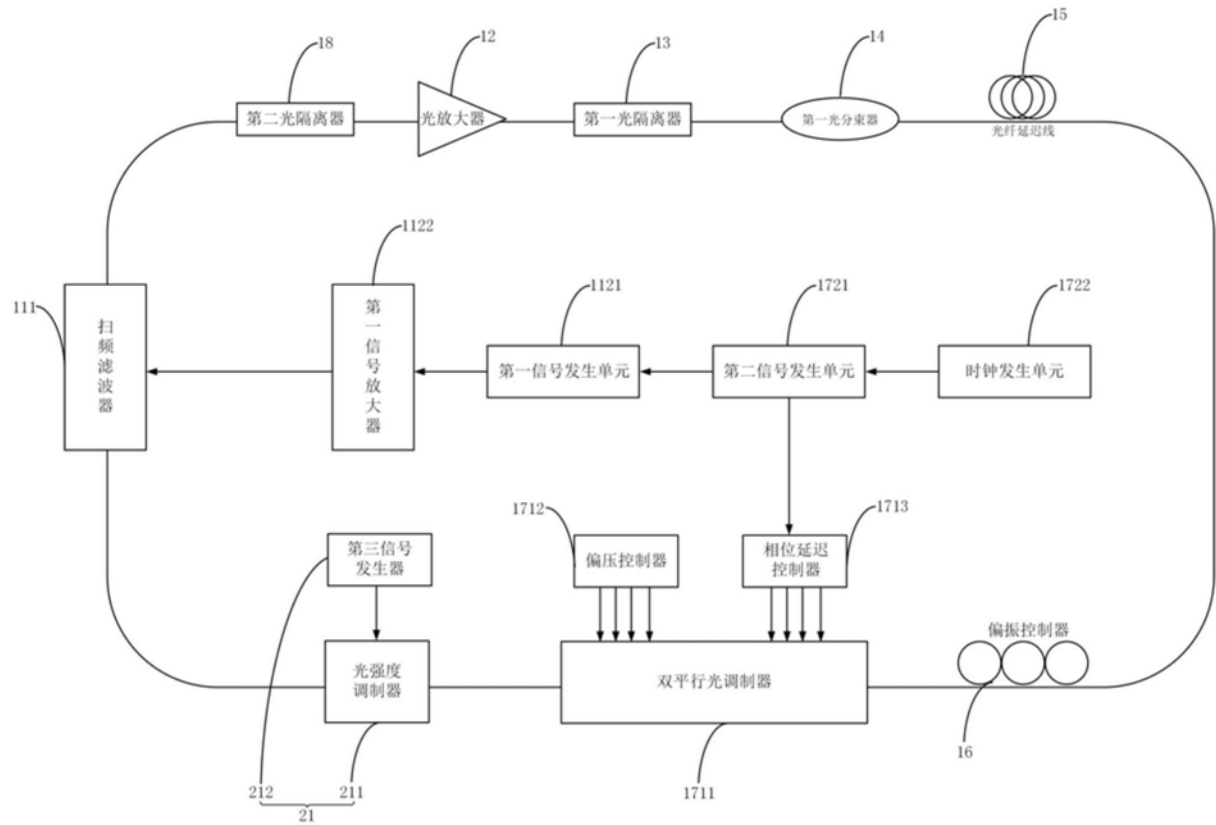


图4

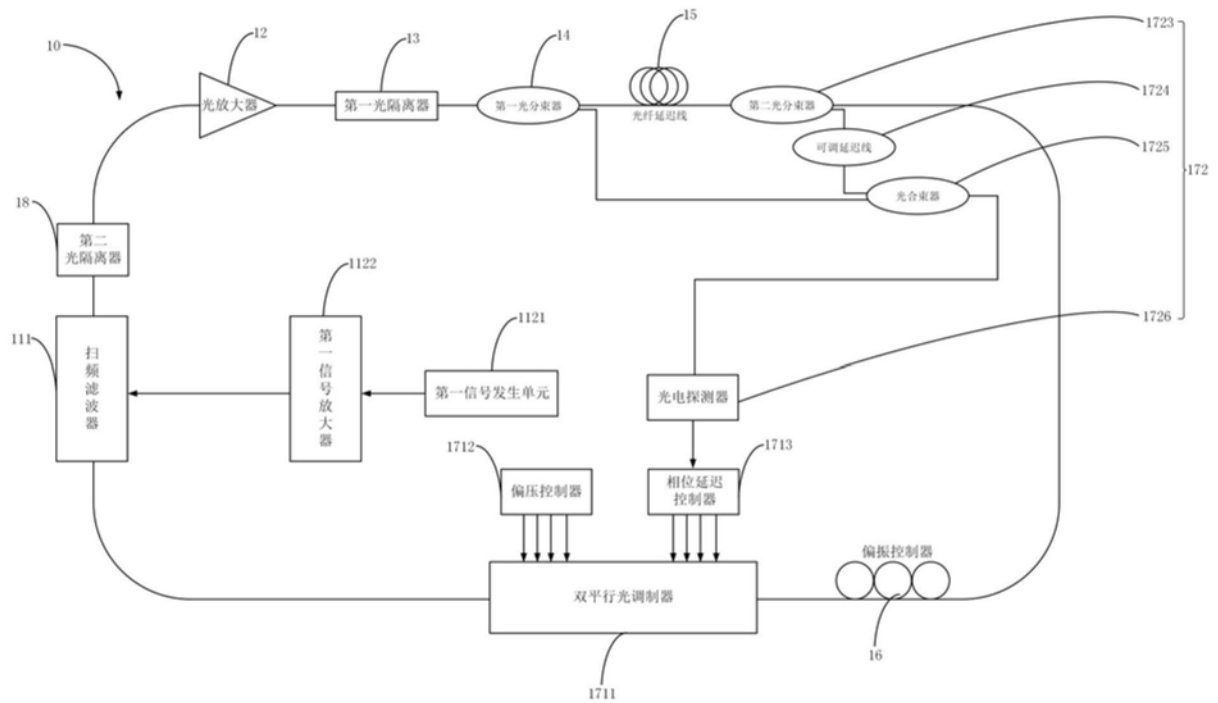


图5

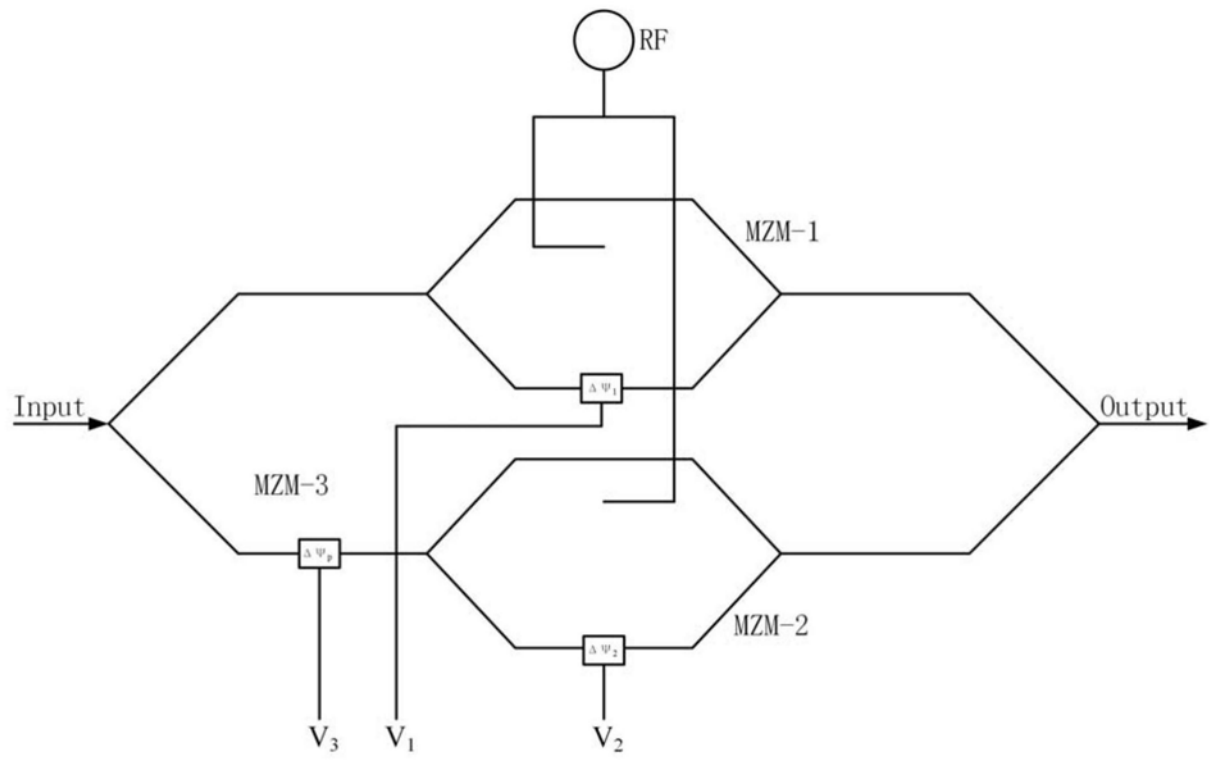


图6